

# Mathematik anwendungsorientiert - als Naturwissenschaftler beim DLR

**Dr. Margrit Klitz**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.  
Simulations- und Softwaretechnik  
Berlin / Braunschweig / Köln



Knowledge for Tomorrow



# Zu meiner Person

- Geboren irgendwann Anfang der 80'er in Husum
- Studium **Mathematik** an der Uni Bonn
  - SHK seit 2003: Numerische Mathematik, Simulation, Strömungsmechanik
  - Diplom 2007
  - Doktorarbeit abgeschlossen 2015
- **3 Töchter** (2008, 2010, 2013)
- **PostDoc** für ein halbes Jahr
- **Im DLR** seit August 2015
  - Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Simulations- und Softwaretechnik: Parallelisierung von Codes, Strömungsmechanik, Hubschrauberdynamik, Softwareentwicklung
  - Seit Anfang 2017: Stellvertretende Abteilungsleiterin der High-Performance-Computing Abteilung



# Zum DLR

## Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- Forschungseinrichtung
  - Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Digitalisierung und Sicherheit
  - nationale und internationale Kooperationen
- Raumfahrtagentur
  - Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten
- Projektträger
  - Forschungsförderung





# Überblick

- Das DLR-Leitbild und die Forschungsbereiche des DLR
- Mathematiker im DLR
- Die Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik (SC)
- Mathematiker bei SC



# Standorte und Personal

Circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 40 Instituten und Einrichtungen in 20 Standorten.

Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.



# Leitbild - Gesamtstrategie

- Das DLR - die führende und richtungsweisende öffentliche Forschungseinrichtung in Europa für seine Forschungsbereiche Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie
- Das DLR - die gestaltende Kraft für die europäische Raumfahrt in seiner Funktion als Raumfahrtagentur
- Das DLR - die Dachorganisation für die wirkungsvollsten und effizientesten Projektträger



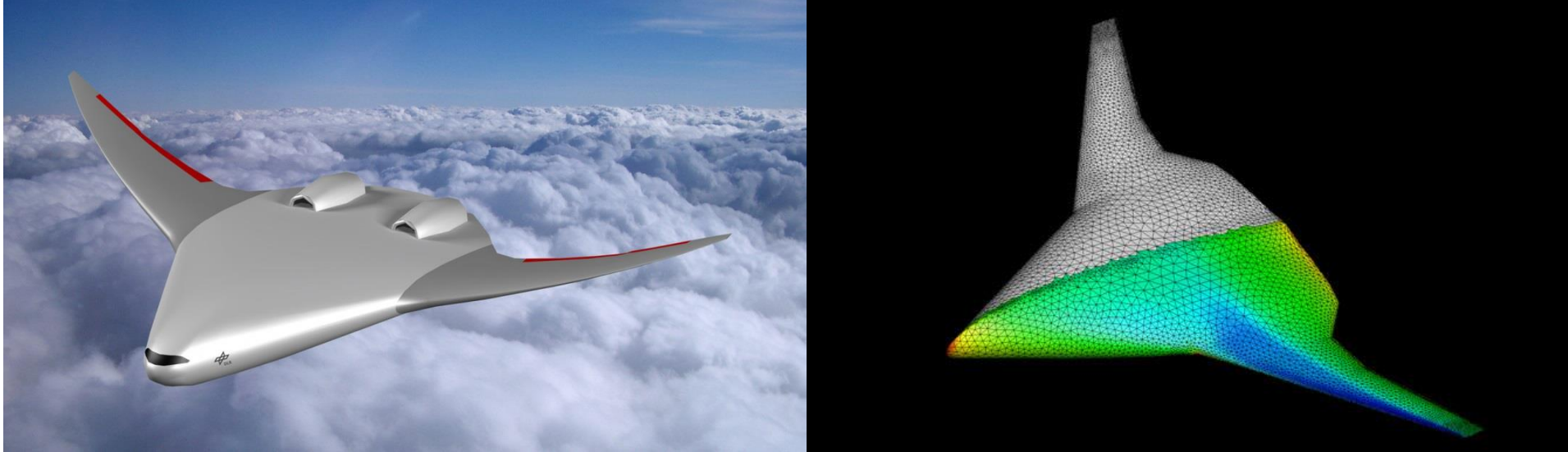


# DLR Forschungsbereich Luftfahrt

- Optimierung der Leistung und der Umweltverträglichkeit des Gesamtsystems „Flugzeug“
- Einflüsse des wachsenden Luftverkehrs auf die Umwelt, bessere Vorhersage der für den Flugbetrieb wichtigen Wetterfaktoren
- Weltweit führende Forschung in der Rotor-Aerodynamik, der Rotordynamik, sowie der Steuerung und Führung von Hubschraubern
- Sicherer, nachhaltiger und effizienter Luftverkehr (Flugsicherung, Flugbetrieb)



# Wie sieht das Flugzeug der Zukunft aus?



- Blended Wing Body (Nurflügler)
- Mehr Platz für Passagiere, leichter, weniger Treibstoffverbrauch
- Die Auslegung (z.B. theoretische Berechnungen der Aerodynamik oder Aeroelastik) im Computer gehen jeder Neuentwicklung in der Luftfahrt voraus





# Messflug des Forschungsflugzeugs Falcon über dem Eyjafjalla am 1. Mai 2010



# 15 Meter über dem Boden: ATRA sammelt Insekten

- Entwicklung sogenannter Laminarflügler
- Geringer Strömungswiderstand
- Einsparpotential nur wenn keine Insektenhaftungen die laminare Strömung stören
- Messung Verschmutzung durch Insekten bei verschiedenen Flugzuständen





# Erster Solar Impulse-Prototyp HB-SIA über San Francisco

- Unterstützung beim Bau des Solarflugzeuges
- 2010 durchgängiger Tag- und Nachtflug
- Hier 2013 Flug über San Francisco





# DLR Forschungsbereich Raumfahrtforschung und -technologie

- Erdbeobachtung
- Kommunikation & Navigation
- Erforschung des Weltraums
- Forschung unter Schwerelosigkeit
- Raumtransport
- Technik für Raumfahrtsysteme inkl. Robotik

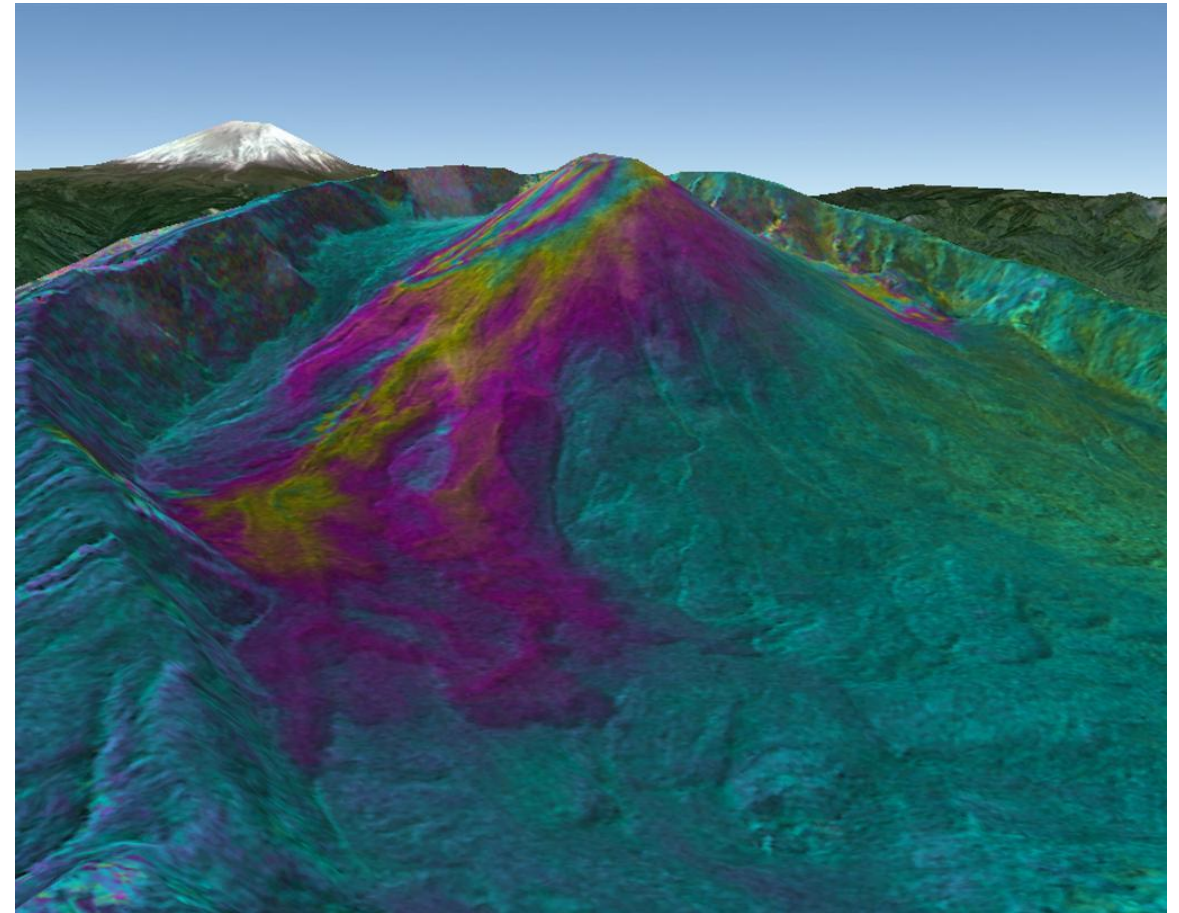


# Erdbeobachtung: Mit Satellitenbildern Naturkatastrophen vorbeugen

- Erdbeben Haiti 2010, Tsunami Japan 2011, aktuelle Waldbrände
- Schwere Überschwemmungen in Indien und Bangladesch
- Wie können Naturgefahren mit Erdbeobachtungssatelliten besser erkannt werden?

Beispiel:

- Veränderungen des Vulkans Reventador in den Anden seit 2000
- Farbige Bereiche zeigen junge Lavafelder
- Vulkanspitze: Zugewinn um 75 m

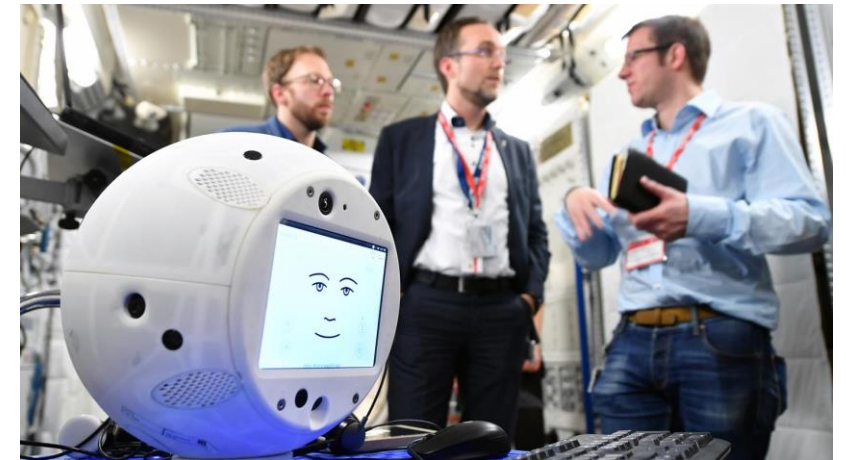
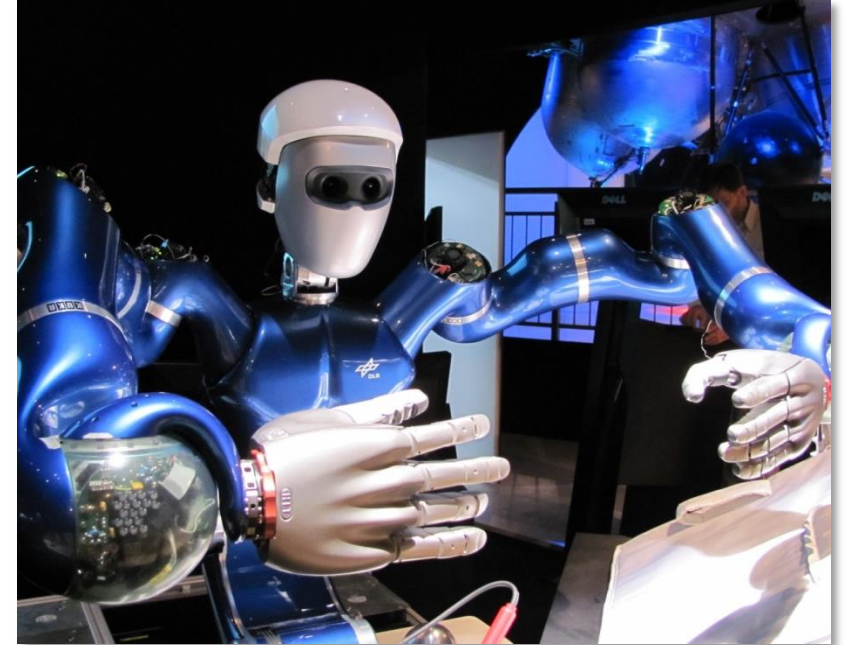


# Raumfahrtstechnologie und Raumfahrtrobotik

- Roboter als verlängerter Arm des Menschen im Weltall
- Landen autonomer robotischer Systeme auf Himmelskörpern
- Übernehmen gefährlicher Aufgaben
- Unterstützung des Astronauten

Beispiele:

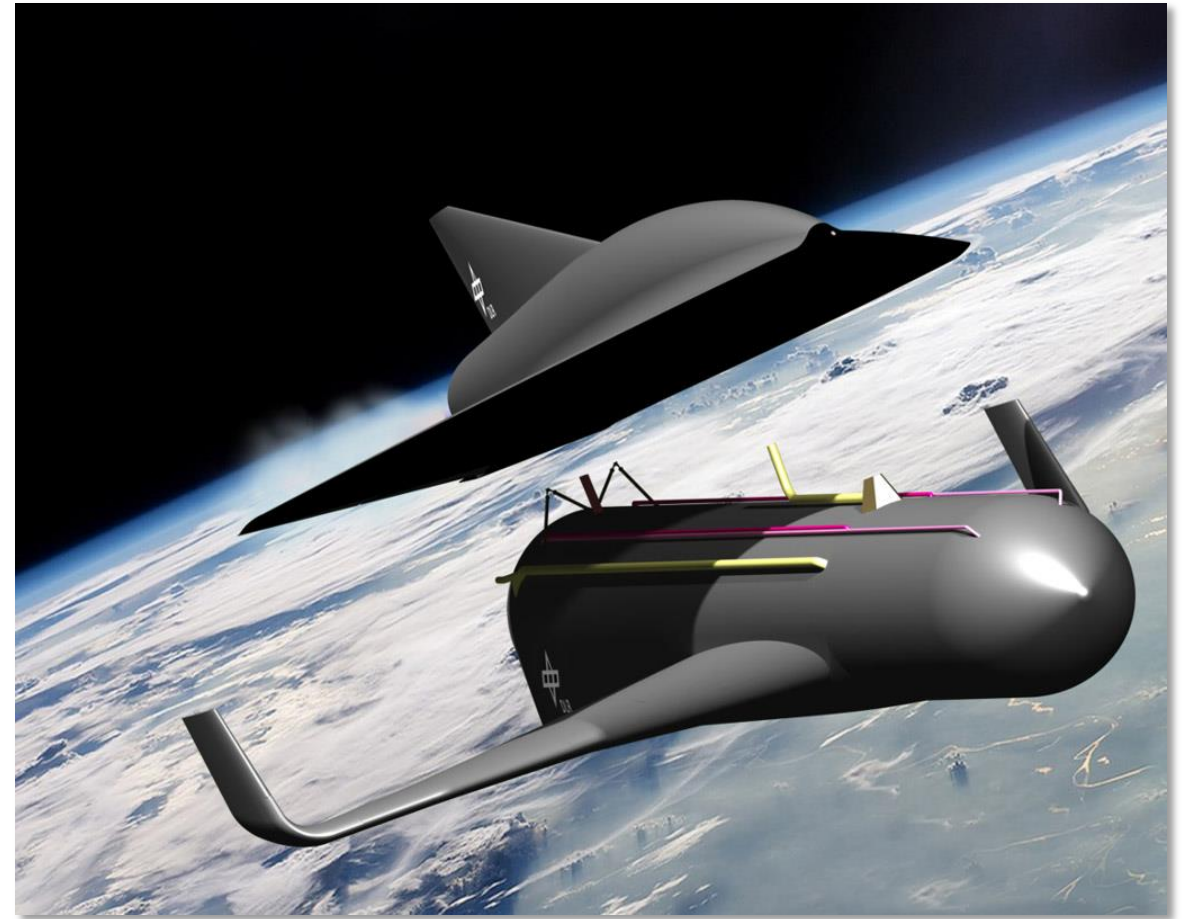
- Der zweiarmige Roboter-Torso "JUSTIN" des DLR
- Der Technologie-Demonstrator CIMON





# SpaceLiner im Flug

- Suborbitalflug in 80 km Höhe
- Vor dem Start aufrecht, Raketentriebwerke
- Nach 8 min. Gleitflug mit 20-facher Schallgeschwindigkeit
- In 90 min. nach Australien
- 50 Mitflieger in Passagierkapsel



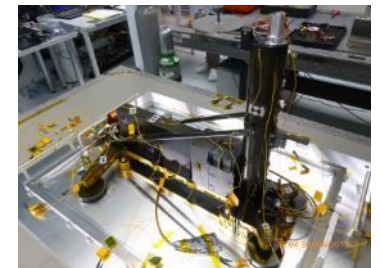
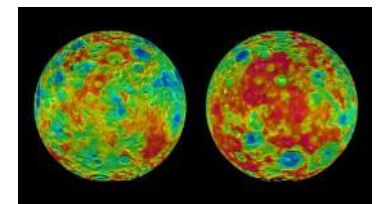
# Erforschung des Weltraums

## Fokus:

- Erforschung des Sonnensystems
- Suche nach extrasolaren Planeten und Habitabilität

## Highlights:

- Mars Express: hochauflösende Vermessung der Mars Oberfläche
- Rosetta: ESA Kometenmission mit Lander Philae
- Mascot: JAXA - NEO Sample Return Mission Hayabusa-2
- Dawn: NASA Asteroiden-Mission
- Insight: NASA Discovery Mission zur Erforschung des Marsinneren
- Bebi Colombo: ESA und JAXA-Mission Erforschung des Merkur



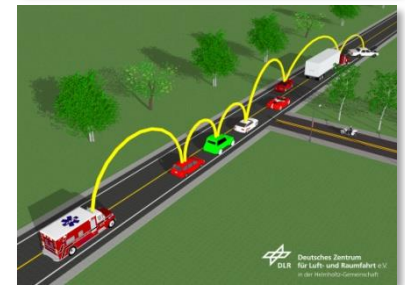
# DLR-Forschungsbereich Verkehr

Nachhaltige Mobilität in einer Interessenbalance von

- Wirtschaft
- Gesellschaft
- Umwelt

durch

- Verringerung des Energiebedarfs von Straßen- und Schienenfahrzeugen
- Vermeidung von schädlichen Emissionen, insbesondere CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Ruß und Lärm
- Erhöhung von Sicherheit, Zuverlässigkeit, Komfort
- Effizientere Nutzung bestehender Infrastrukturen
- Verbesserung multimodaler Transportketten





# Das DLR-Projekt Next Generation Train (NGT)

- Hauptziele:
  - Verkürzung der Reise- und Transportzeiten
  - Energie sparen und Lärmemissionen senken
  - Komfort für Passagiere steigern
  - Fahrsicherheit verbessern
  - Lebenszykluskosten des rollenden Materials verringern
- Forschungsfragen u.a.:
  - Seitenwindstabilität
  - Gefährdungsbetrachtung
  - Fahrdradtlose Energieübertragung für Geschwindigkeiten bis ca. 400 km/h



# DLR Forschungsbereich Energie

## Ziele:

- Nachhaltigkeit der zukünftigen Energieversorgung
- Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Effizienz und Wirtschaftlichkeit
- Umwelt- und Klimaschutz
- Gesellschaftliche Akzeptanz
- Stärkung der deutschen und europäischen Industrie

## Zu erreichen durch:

- Effiziente, flexible und schadstoffarme Gasturbinenkraftwerke
- Solarthermische Kraftwerke, Solar Fuels und Windkraft
- Thermische, chemische und elektrische Energiespeicher
- Systemanalyse und Technikbewertung





# Parabolrinnenanlage der Plataforma Solar del Almeria

- Kollektorfeld eines Solarfarmkraftwerks bestehend aus Parabolrinnen
- Entkopplung des Stromproduktion von den Schwankungen der Sonneneinstrahlung durch Wärmespeicher
- Solarthermische Kraftwerke liefern auch nachts Strom



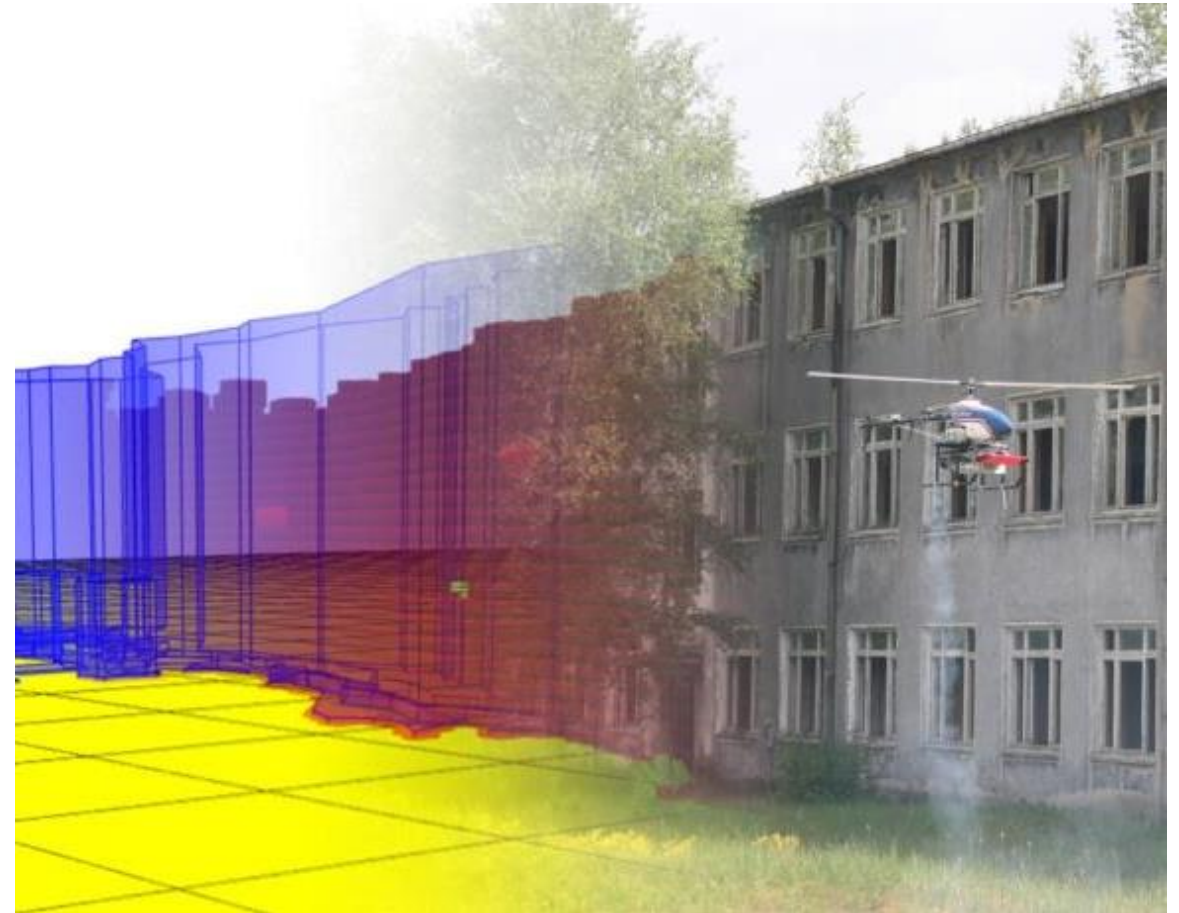


# DLR Forschungsbereich Sicherheit

- Beurteilung und Beratung sicherheitsrelevanter Anwendungen mit dem Ziel, den Menschen zu unterstützen und zu schützen

## DLR-übergreifend:

- Flughafensicherheit (Luftfahrt/Verkehr)
- Satellitengestütztes Krisenmanagement (Raumfahrt)
- Dezentrale Energieversorgung (Energie)
- Verkehrsmanagement bei Großereignissen und das Katastrophenmanagement (Verkehr)



# Landminen schneller aufspüren durch Radar

- Durchsuchung von bis zu 100 qm in wenigen Minuten
- Weitaus effektiver als Spürhunde, Metalldetektoren, Bodenradar
- Antennen im Ultrahochfrequenzbereich zw. 500 Mhz und 4 Ghz seitwärts schräg nach unten
- Reflektierte Radarsignale werden mit Hilfe geeigneter Algorithmen zu Intensitätskarten





# Neue Kommunikationsmöglichkeiten für die Notfallrettung

- Kooperation mit Uni Münster
- Schnelle Suche nach geeigneter Klinik/Fachabteilung
- Schnelle direkte Kontaktaufnahme zw. Notärzten vor Ort und Fachärzten, die in Klinik weiterbehandeln
- Versorgung unter Anleitung des Facharztes



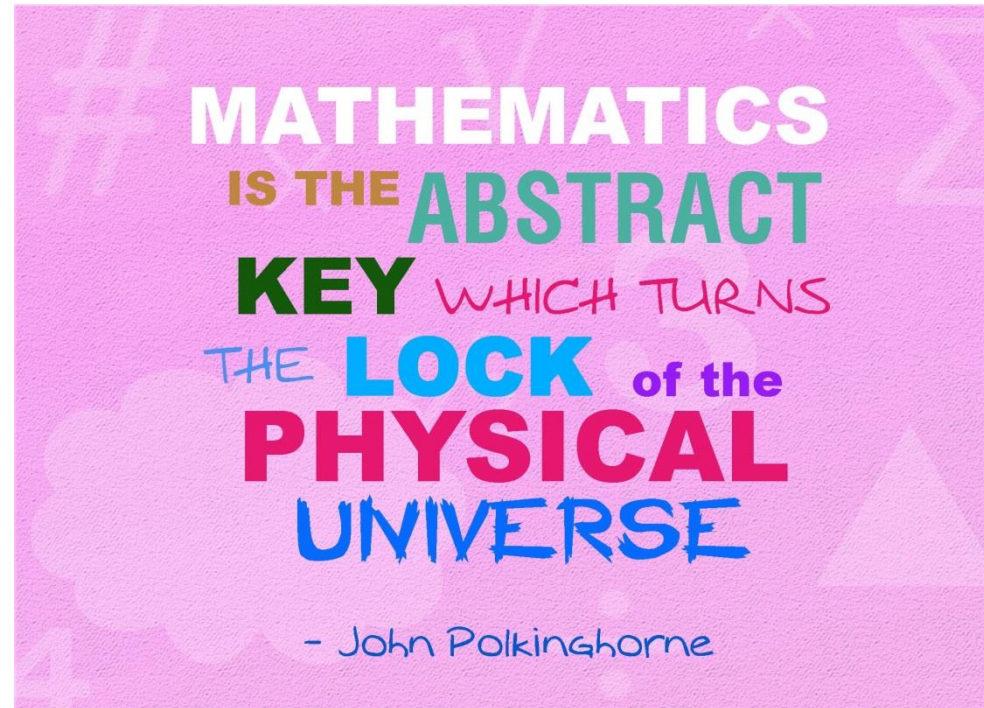


# Die Entwicklungen des DLR beeinflussen unsere Welt von Morgen...



# Genug Arbeit für Mathematiker

- Algorithmen
- Datenanalyse
- Simulation
- Visualisierung
- Und vieles mehr...









# Teamfähigkeit

## Arbeit in interdisziplinären Teams

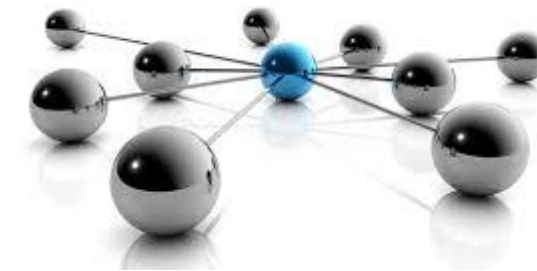
- Ingenieure
- Informatiker
- Physiker
- Wirtschaftswissenschaftler
- Mediziner
- Psychologen
- Juristen
- ...



# Kommunikation

## Kommunizieren im interdisziplinären Team

- Gute Kommunikation in Projekten notwendig für erfolgreiche Resultate
- Freude am Kommunizieren mit „fremden“ Fachdisziplinen sind daher sehr wichtig
- Fähigkeit zum Präsentieren und Publizieren sind notwendig
- Dafür gibt es viele Einblicke in verschiedenste Fachgebiete



# Fachkenntnisse

## Interesse und Spaß an mathematische Herausforderungen

- Numerische Mathematik
- Optimierung
- Modellierung





# Simulations- und Softwaretechnik



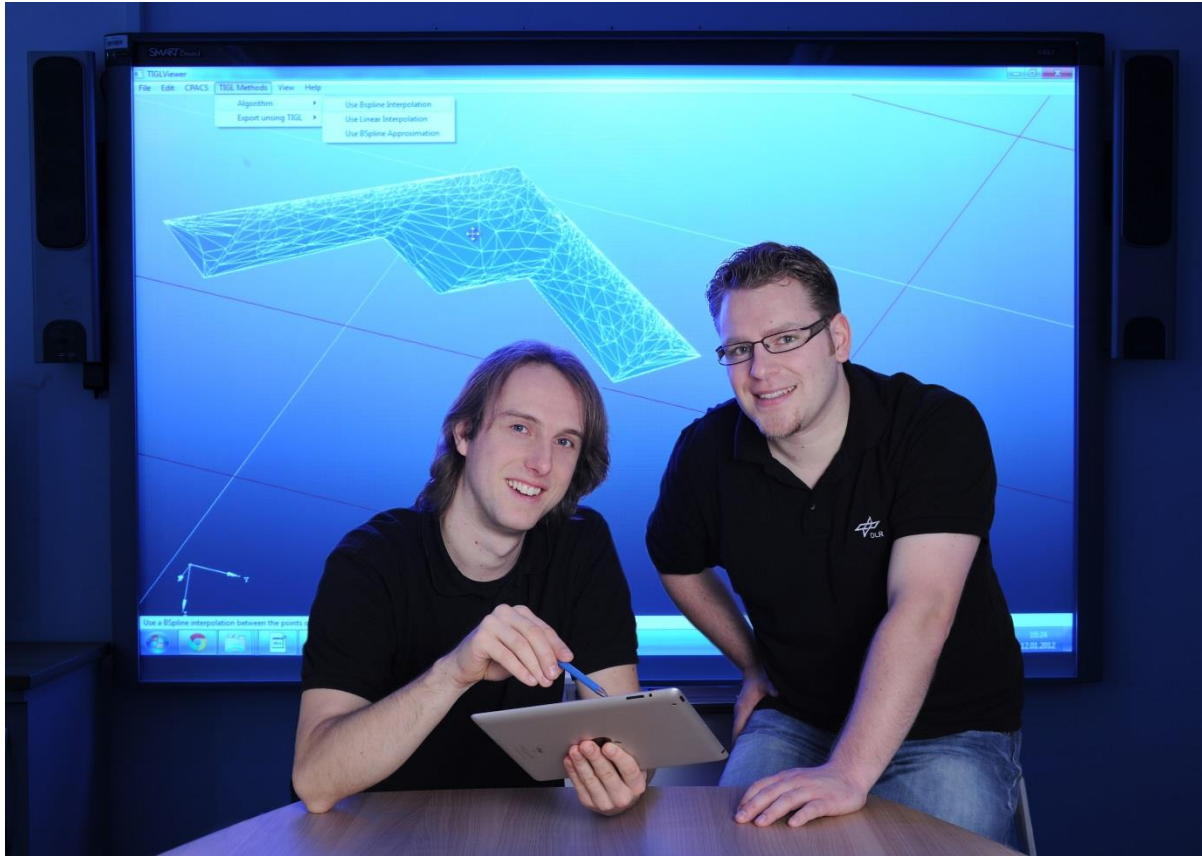
- Steht für **innovatives Software Engineering**,
- Entwickelt **anspruchsvolle Individualsoftwarelösungen** für das DLR und
- Ist Partner in **wissenschaftlichen Projekten** im Bereich Simulations- und Softwaretechnologie



# Verfahren und Software entwickeln

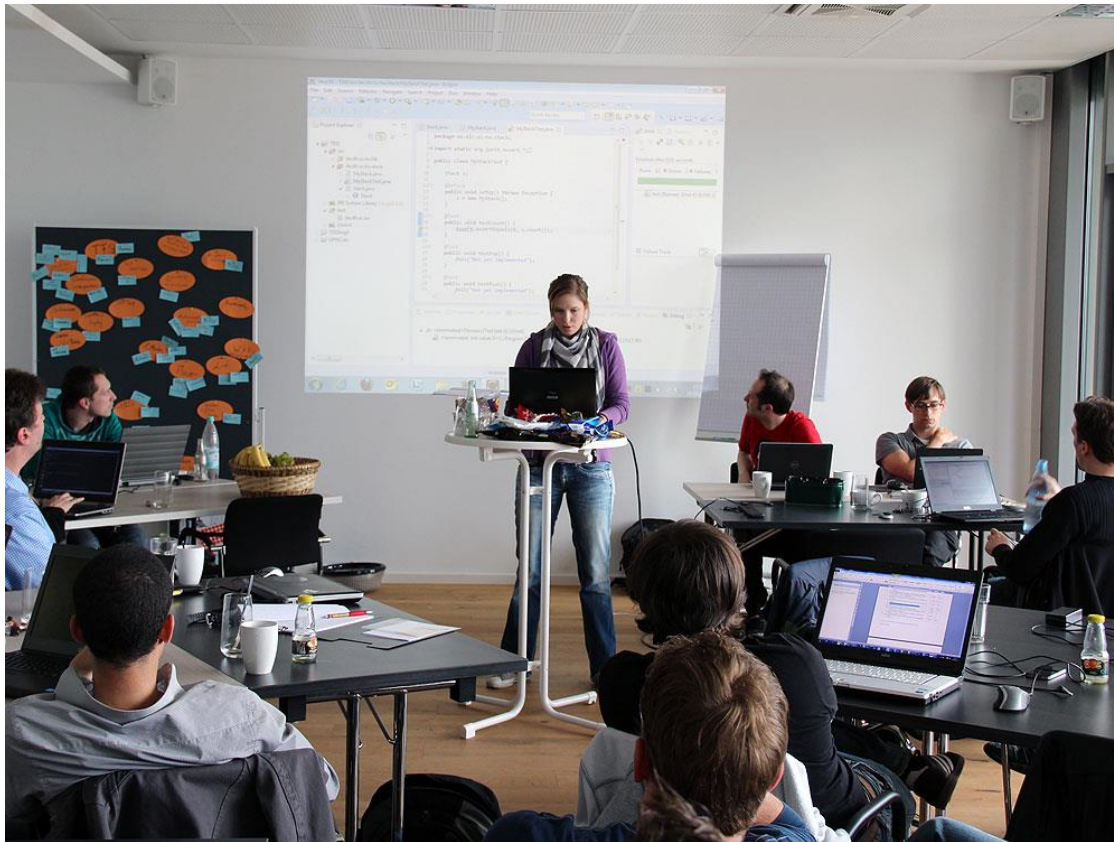


# Gemeinsam an Lösungen arbeiten



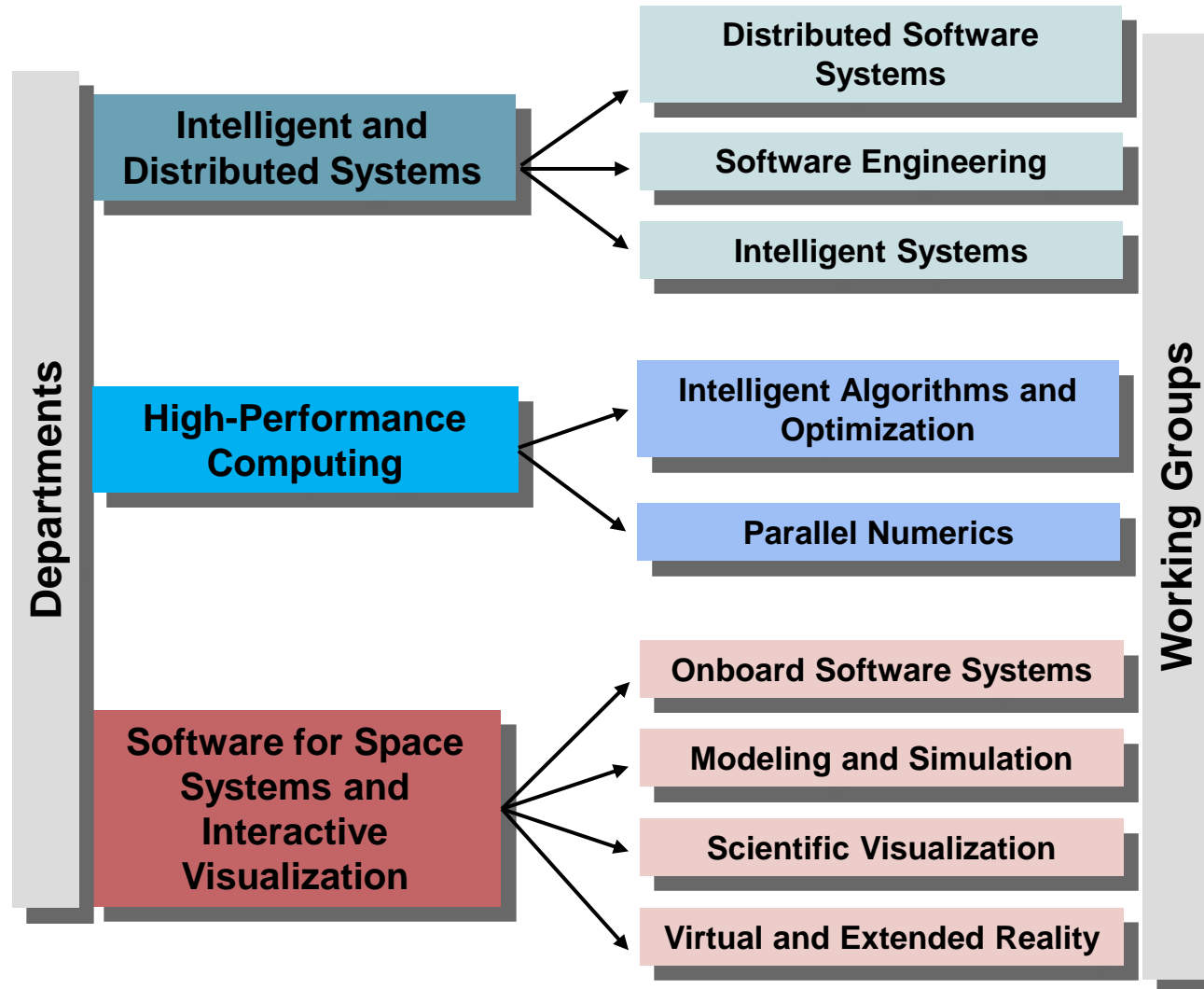


# Voneinander lernen



# DLR Institute Simulation and Software Technology

## Scientific Themes and Working Groups



# High Performance Computing – Survey of Topics

## Parallel algorithms and data structures

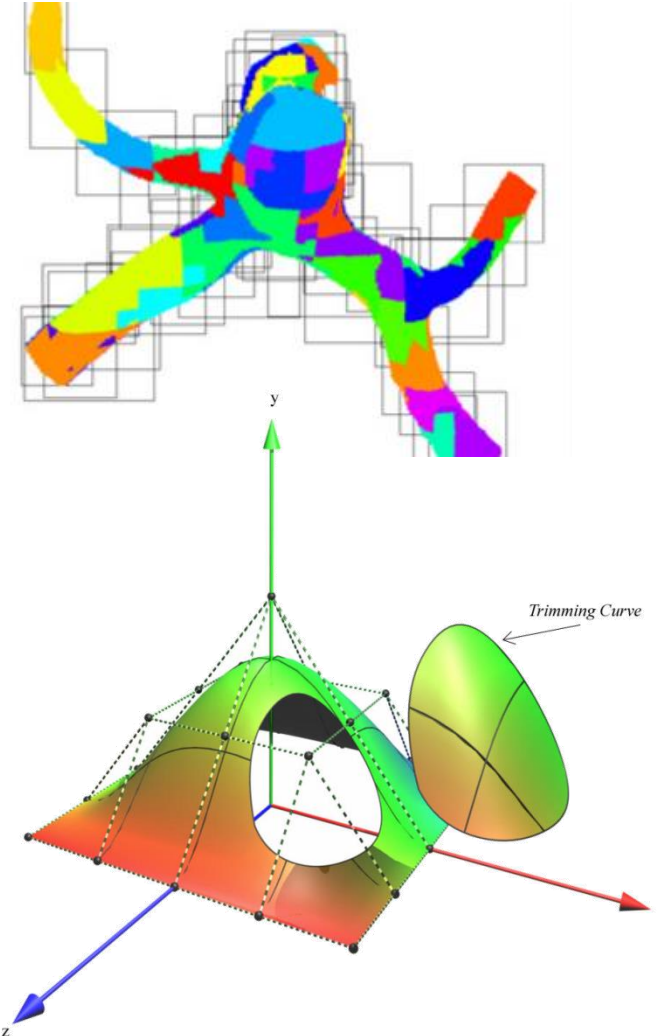
- Numerical libraries
- Optimization algorithms and tools
- Algorithms for quantum computers

## Parallelization techniques for modern computer architectures

- Parallel programming
- Programming of quantum computers
- Parallel basic libraries
- Tools for parallel software systems

## Data Science

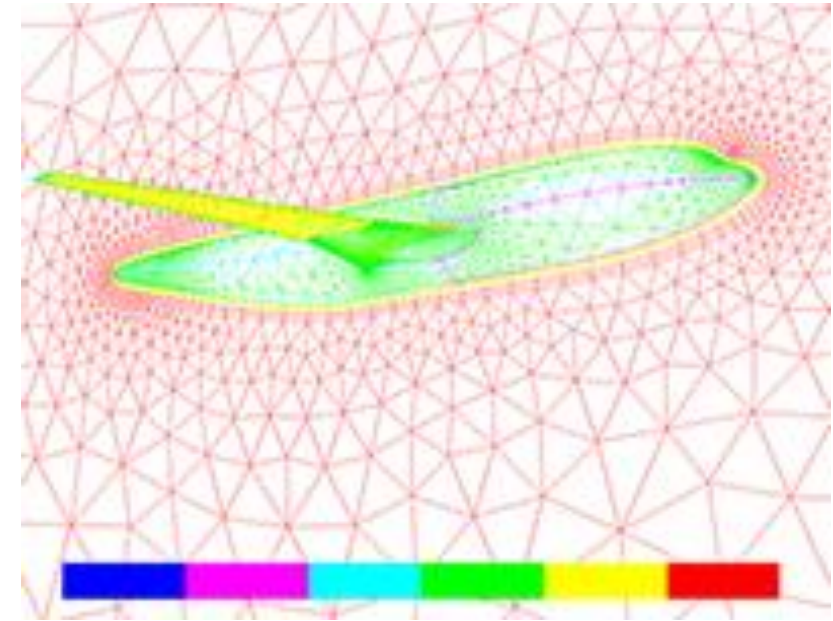
- Pre-processing, e.g. partitioning
- High performance data analytics






# Flugzeugentwicklung der Zukunft

- <https://www.youtube.com/watch?v=7o3J8s5AGS0>
- Der FlowSimulator DataManager (FSDM) ist eine HPC-Bibliothek zur Speicherung und zur parallelen Verwaltung von Numerischen Strömungssimulationsdaten („CFD - Computational Fluid Dynamics“)
- Wird gemeinsam von Airbus, DLR, Onera und weiteren Europäischen Forschungsinstituten entwickelt.
- FSDM arbeitet mit unterschiedlichen strukturierten und unstrukturierten Gittern zusammen, es unterstützt hängende Knoten in den Gittern und es erlaubt die Interpolation von Datensätzen auf unterschiedlichen Gittern.

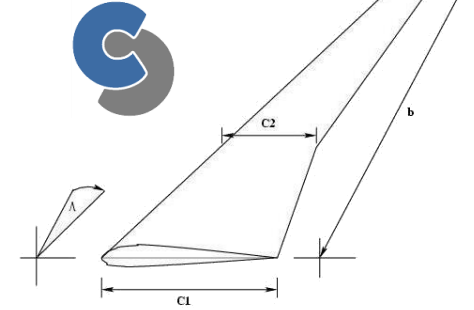


# Geometriegenerator TiGL



- Ziel Design-Optimierung eines Flugzeugs
- Viele Simulationen benötigen Flugzeuggeometrie, z.B.
  - Aerodynamikrechnungen
  - Strukturmechanik
  - Aeroelastik
- TiGL ist zentrale Programmbibliothek für Generierung der Geometrie
- Open Source , Apache 2.0

Eingabe: parametrische Daten  
(Winkel, Längen etc...)



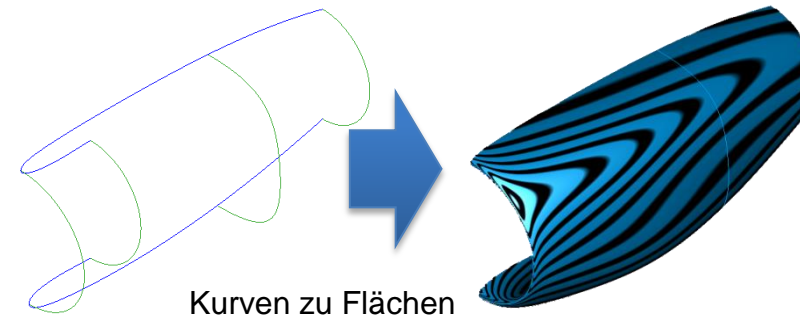
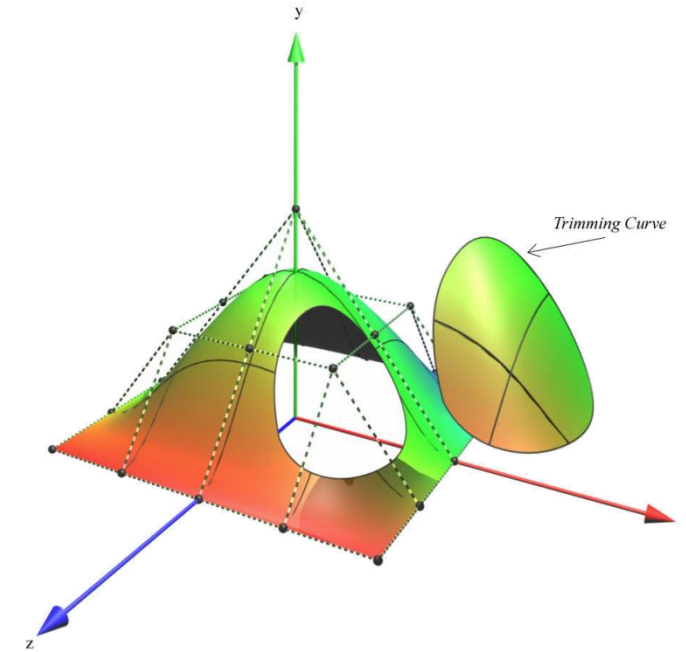
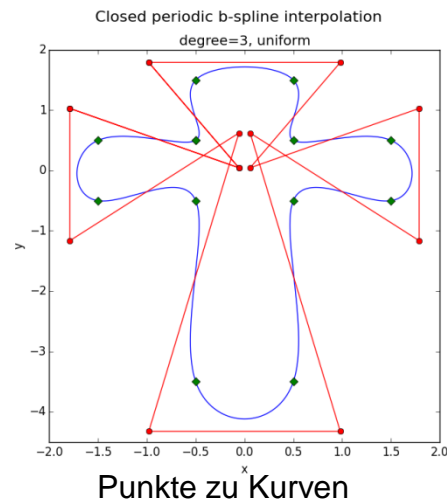
Ausgabe: 3D Geometrie



# Geometriegenerator TiGL

## Methoden

- Basis: Non Uniform Rational B-Splines (NURBS)
- B-Spline Interpolation von Kurven und Flächen





# Hubschrauber

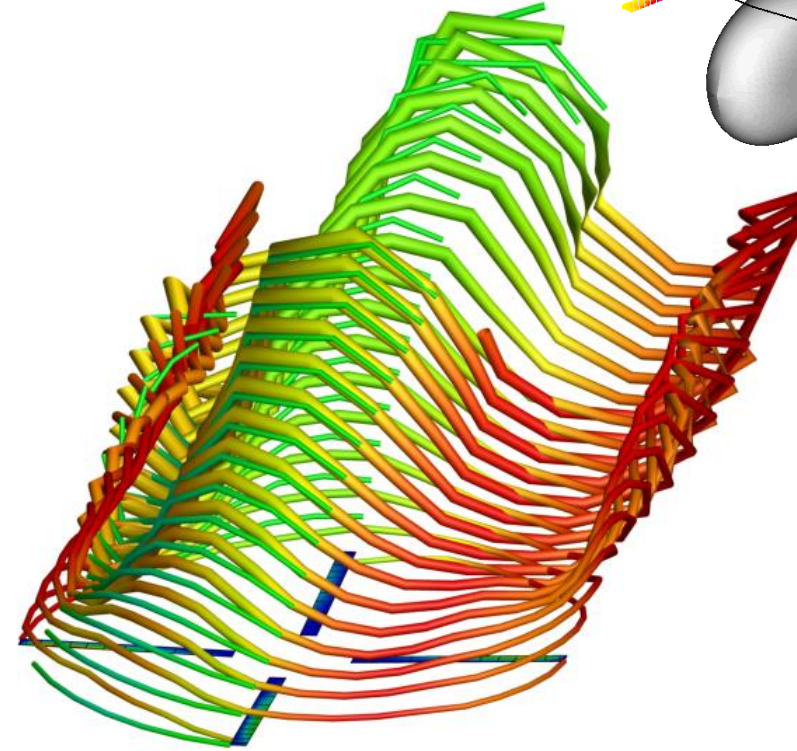
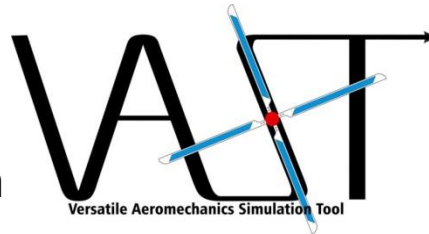


## Freewake

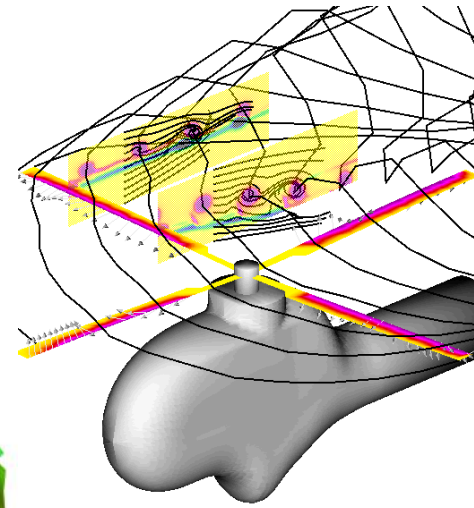
- Berechnet Strömung im Nachlauf des Rotors
- **Ziel:** Simulation der Rotorsteuerung
  - Flugverhalten
  - Lautstärke
  - Kraftstoffverbrauch
  - Materialbelastung
- Kurze Rechenzeiten benötigt:
  - modellbasierte Vortex-Lattice-Methode

## Aktuell im Projekt VAST

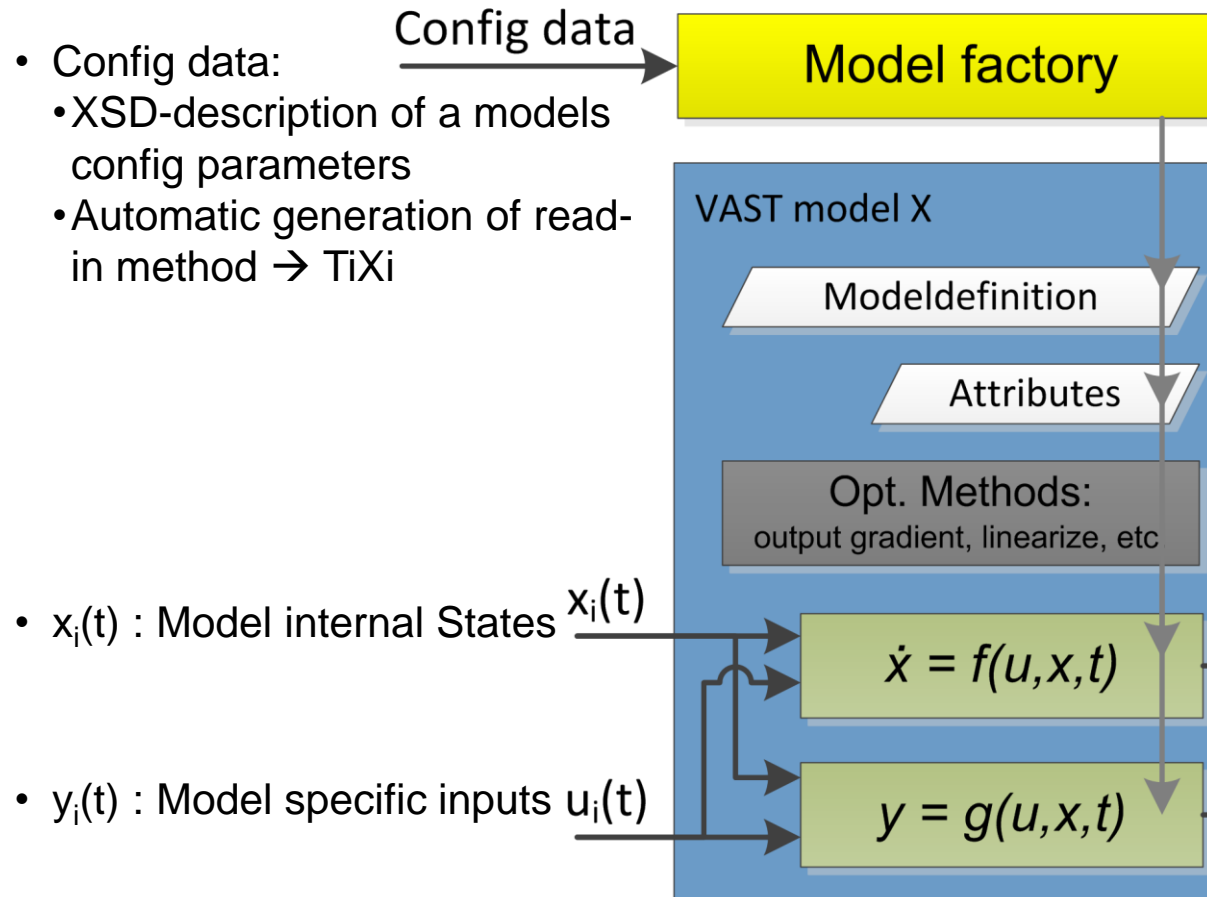
- Gesamthubschrauber-Simulation
  - Differential-Algebraisches System



*Rotorblätter und Wirbel  
beim schnellen Vorwärtsflug*



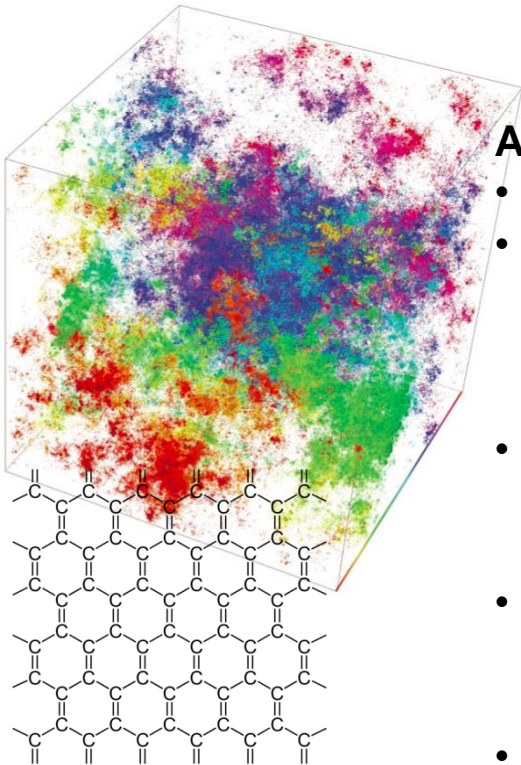
# VAST – Generic State Space Model





# Parallele Numerik – Wie berechnet man Eigenwerte einer Matrix mit 1000 Milliarden Zeilen?

- Algorithmus muss Hardware effizient nutzen können
- Fehlertolerante und selbstorganisierende Verfahren
- Teilweise neue mathematische Analyse erforderlich



## Anwendung aus der Physik:

- „Wundermaterial“ **Graphen**
- Modifikation des Kohlenstoffs mit 2D bienenwabenförmiger Struktur
- Einsatz in Speicherzellen, Superkondensatoren und Akkus
- Elektronische Eigenschaften mit Hilfe der **Schrödingergleichung**
- Großes Eigenwertproblem



Supercomputer mit Millionen CPUs (SuperMUC: > 214 000 cores)



# Project Galileo

**Project aim:** Build a European high-precision positioning system that is independent from GPS (USA) or GLONASS (Russia).

**Operator:** European Space Agency (ESA) and European Global Navigation Satellite Systems Agency (GSA)

## Key facts:

- 30 satellites in total (planned)
- currently 22 satellites in orbit
- orbital height about 23 000 km
- global coverage of satellite system
- accuracy: 1m (free), 1cm (for payment)
- intended primarily for civilian use
- Initial services started in 12/2015
- Full operational capability in 2019



< [http://www.esa.int/ger/ESA\\_in\\_your\\_country/Germany/Galileo-Satellit\\_sendet\\_Navigationssignale\\_von\\_neuer\\_Umlaufbahn](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Galileo-Satellit_sendet_Navigationssignale_von_neuer_Umlaufbahn)>  
08.01.2018.

# Contribution of SC

## Our task:

- Satellite's orbit and signal accuracy is controlled by ground segment
- Ground stations continuously collect large data
- Monthly report of 76 performance indicators of Galileo system
- Report (from previous month) due in 5 working days after new month has started

**We develop** a software that computes these 76 performance indicators with focus on

- reliability (cope with missing input data)
- efficiency (results computed within 2 days)
- maintainability (software used for several years)

**Collaboration** with DLR Institute for Communication and Navigation, DLR Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen & SpaceOpal GmbH



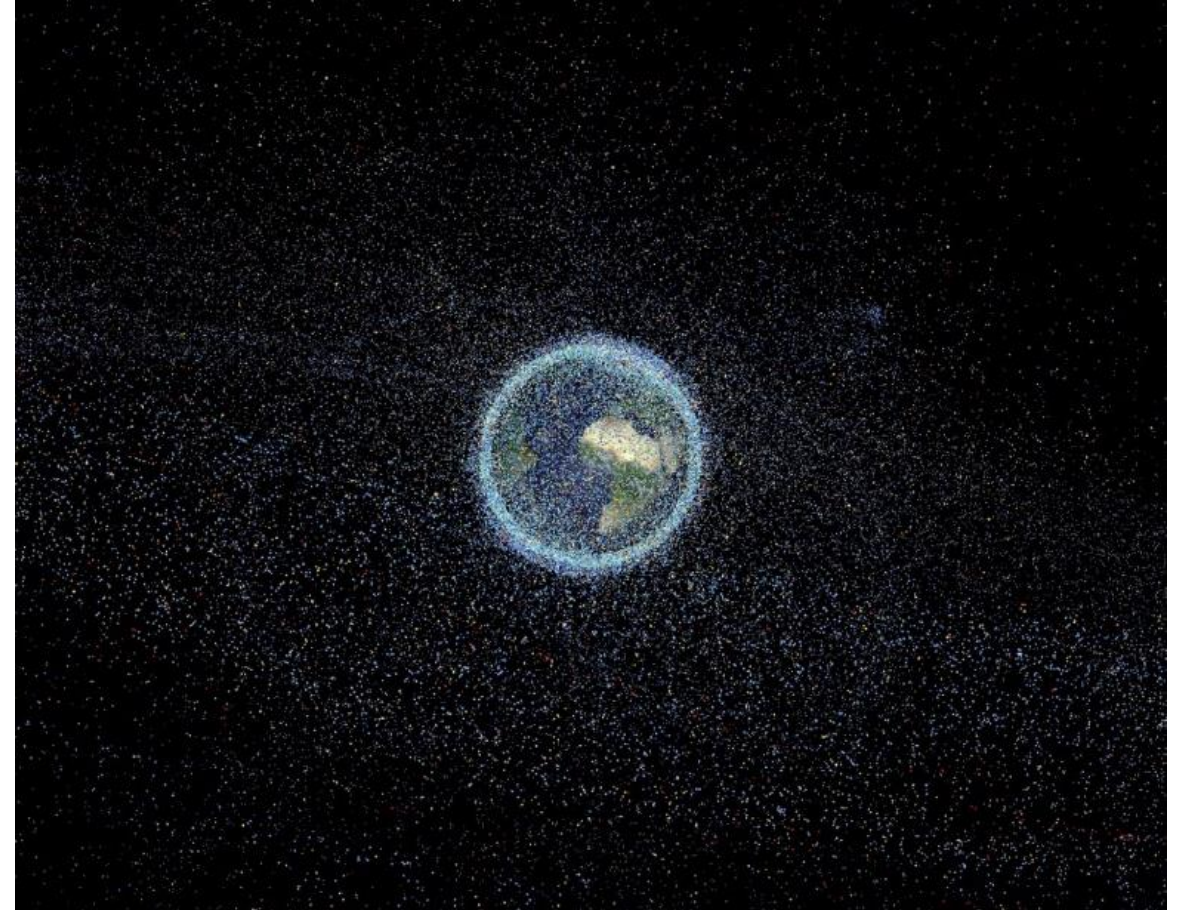
ESA station in Redu, Belgium  
< [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/1998/01/ESA\\_Red\\_u\\_15-m\\_S-band\\_antenna](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/1998/01/ESA_Red_u_15-m_S-band_antenna) >  
08.01.2018.



# Weltraumschrott

Bezeichnet alle nicht-aktiven, nicht-kooperativen orbitalen Objekte, wie z.B.

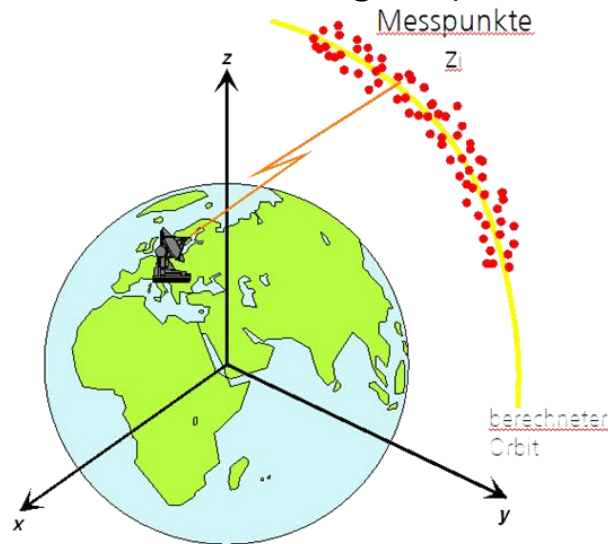
- Ausgebrannte oder defekte Satelliten
- Verlorene Werkzeuge
- Trümmer aller Art (z.B. aus Kollisionen von Satelliten)
- Gefahr bereits ab 1 cm Größe
- 1 000 000 Objekte, rund 16.000 katalogisiert





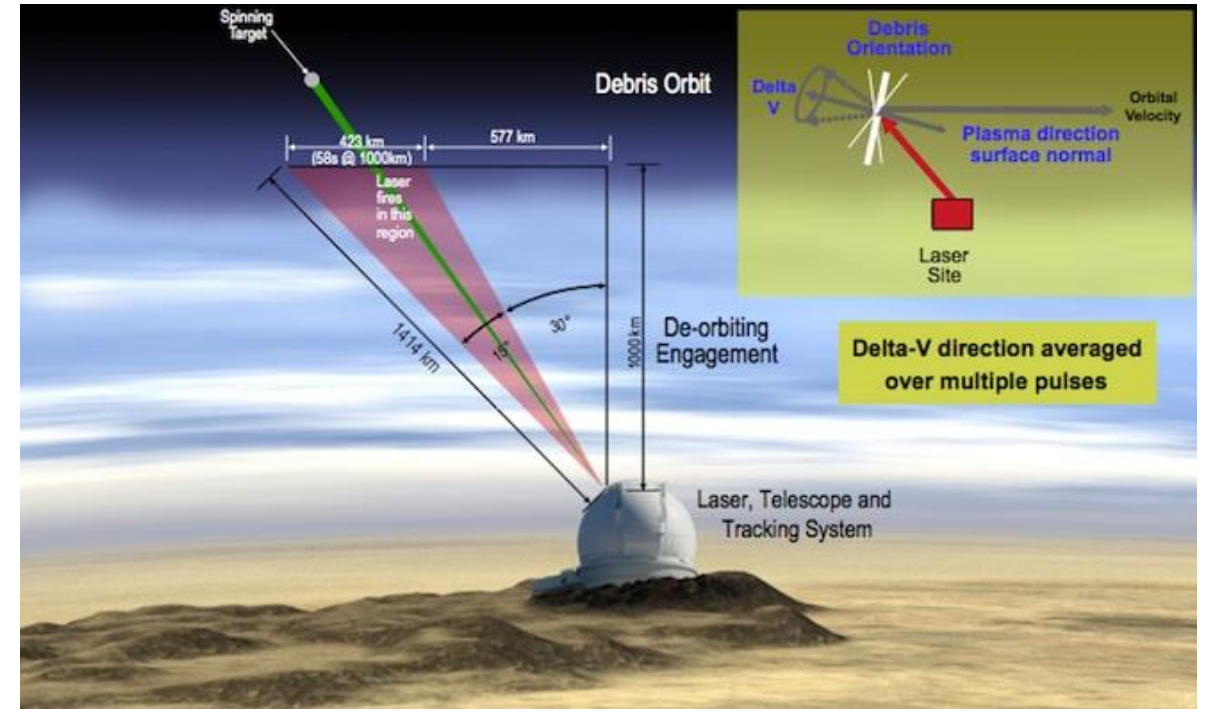
# DLR-Software BACARDI

- Objekt-Katalog mit weiteren relevanten Informationen
- Welche mathematischen Methoden kommen zum Einsatz?
  - Bahnbestimmung für 1.000.000 Objekte
  - Propagation
  - Objektidentifikation
  - Kollisionsvorhersagen (Missionsunterstützung)



Bahnschätzung durch Mittelung:

$$\sum_i [z_i - f_i(\mathbf{r}, \mathbf{v})]^2 = \text{Min}$$



*Tracking von Weltraummüll mit Hilfe von Lasern*

Bildquelle <https://www.wired.com/2011/10/space-junk-laser/>

[https://www.dlr.de/sc/desktopdefault.aspx/tabid-12766/22301\\_read-51854/](https://www.dlr.de/sc/desktopdefault.aspx/tabid-12766/22301_read-51854/)



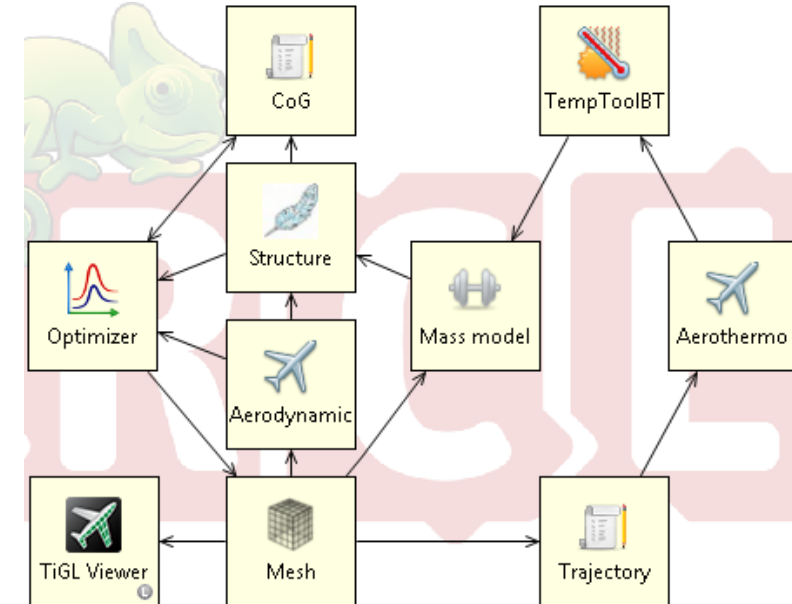
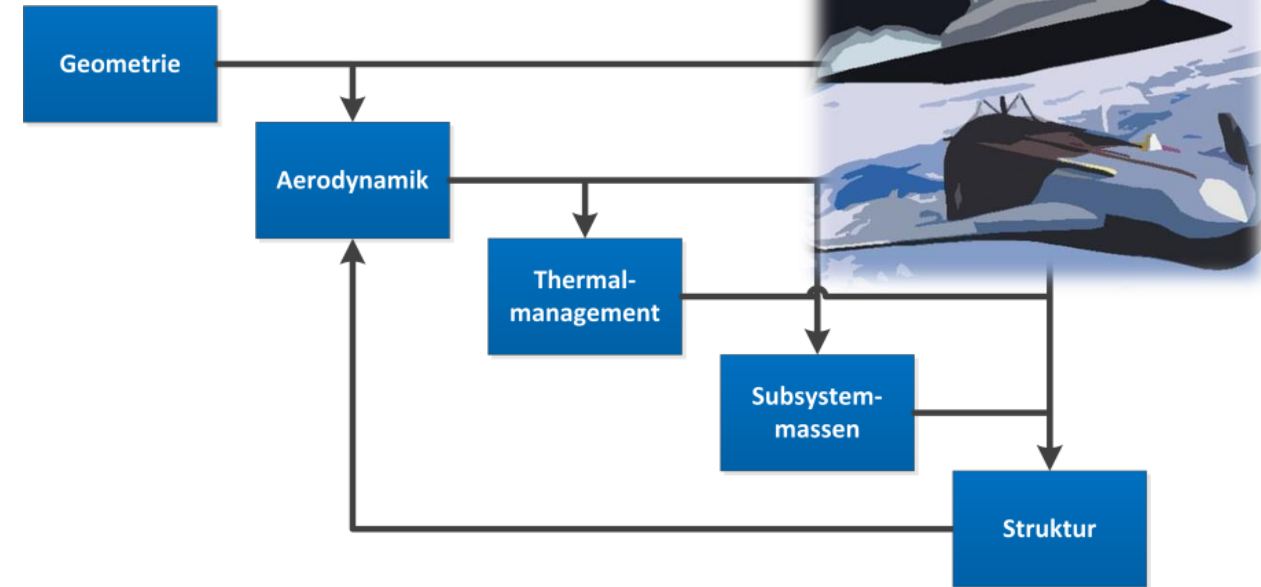
# Optimierungsalgorithmen

## • Methoden:

- Approximation der Zielfunktionen durch Ersatzmodelle
- Strategien der multidisziplinären Design-Optimierung (MDO)
- Verwendung von Integrationsframeworks um verschiedene Simulationsprogramme zu verbinden

## • Entwicklung neuer Algorithmen

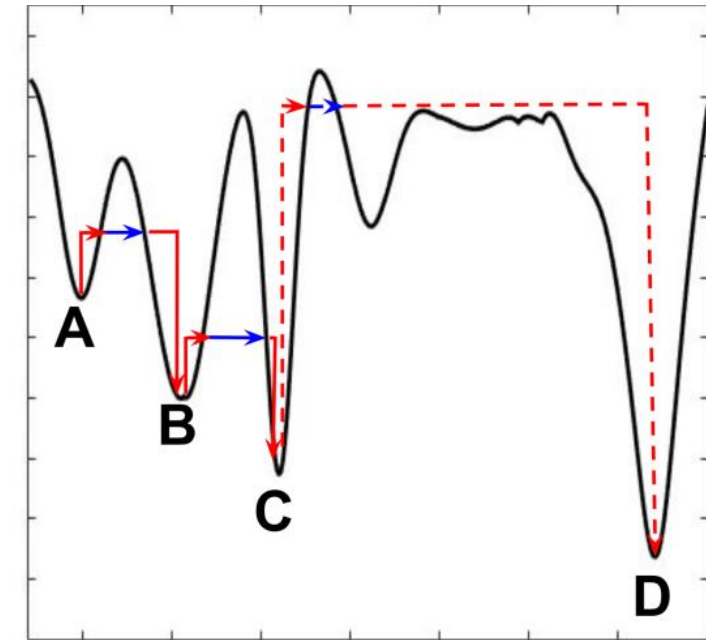
- Ableitungsfreier Optimierungsalgorithmus ECDFO für nichtlineare Gleichheitsnebenbedingungen und ungleichungsbeschränkte Nebenbedingungen





# Adiabatische Quantencomputer

- Qubits statt Bits
- Quanteneffekte erlauben die Betrachtung aller Bitmanipulationen gleichzeitig
- **Optimierung:** Finden des tiefsten Punktes einer Landschaft
- Klassische Computer wandern über die Landschaft
- Quantencomputer können die Landschaft untertunneln
- 10 000 mögliche Lösungen in einer Sekunde
- **D-Wave: Quantum Annealing:** Qubits von Superpositionszustand → Grundzustand
- Dieser Effekt kann nur genutzt werden, wenn ich eine Klasse von Problemen habe, die darauf abgebildet werden können: → Klasse von diskreten Optimierungsproblemen (Qubos)

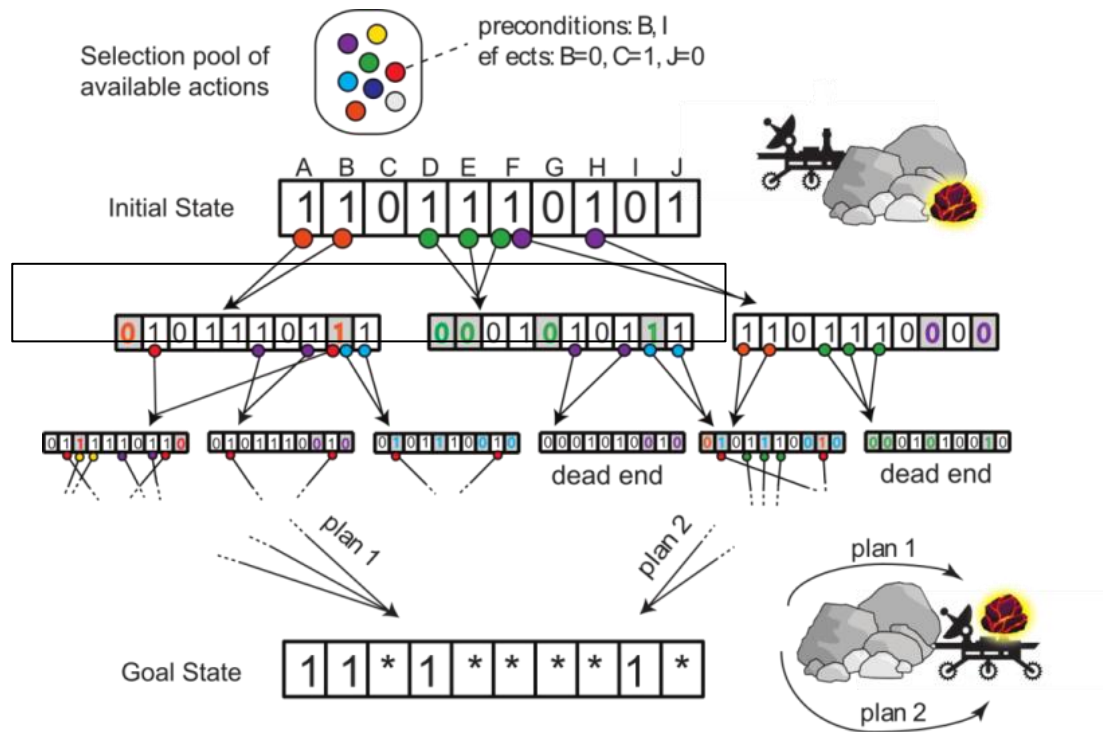


Quelle: Denchev et. al., Google,  
arXiv:1512.02206.

# Optimierung mit adiabatischen Quantencomputern

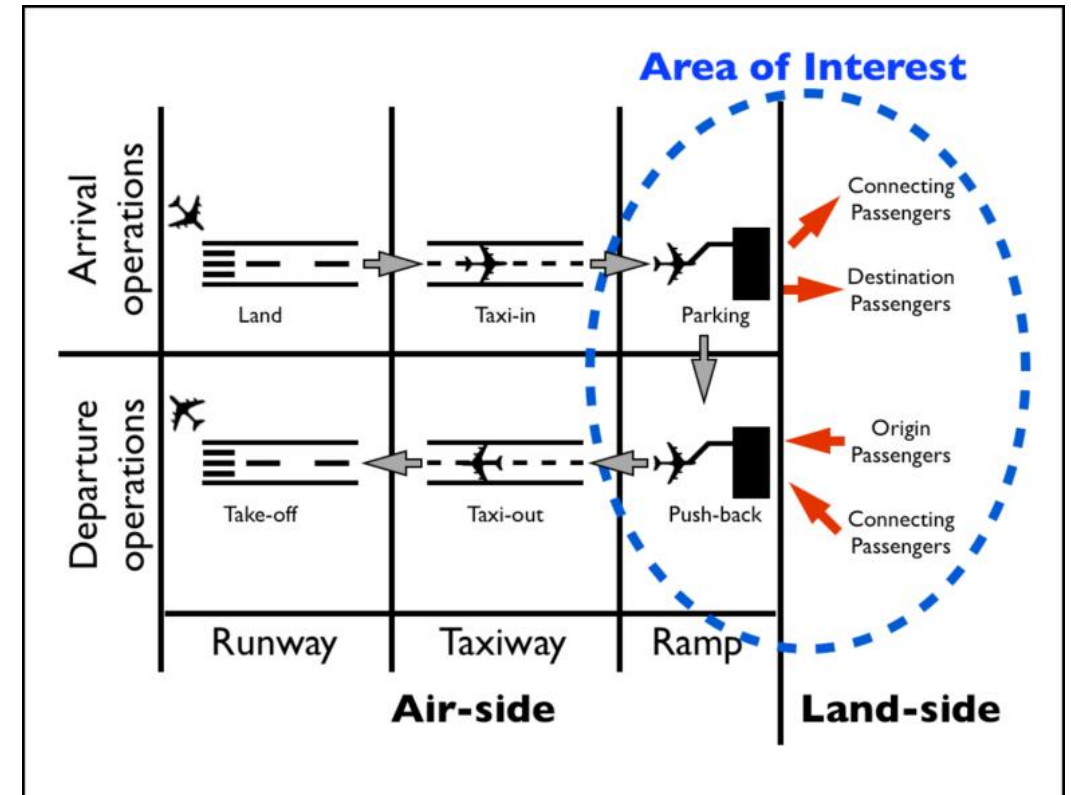
Lösung sehr schwerer kombinatorischer Optimierungsprobleme. Z.B.:

## Missionsplanung



Quelle: NASA

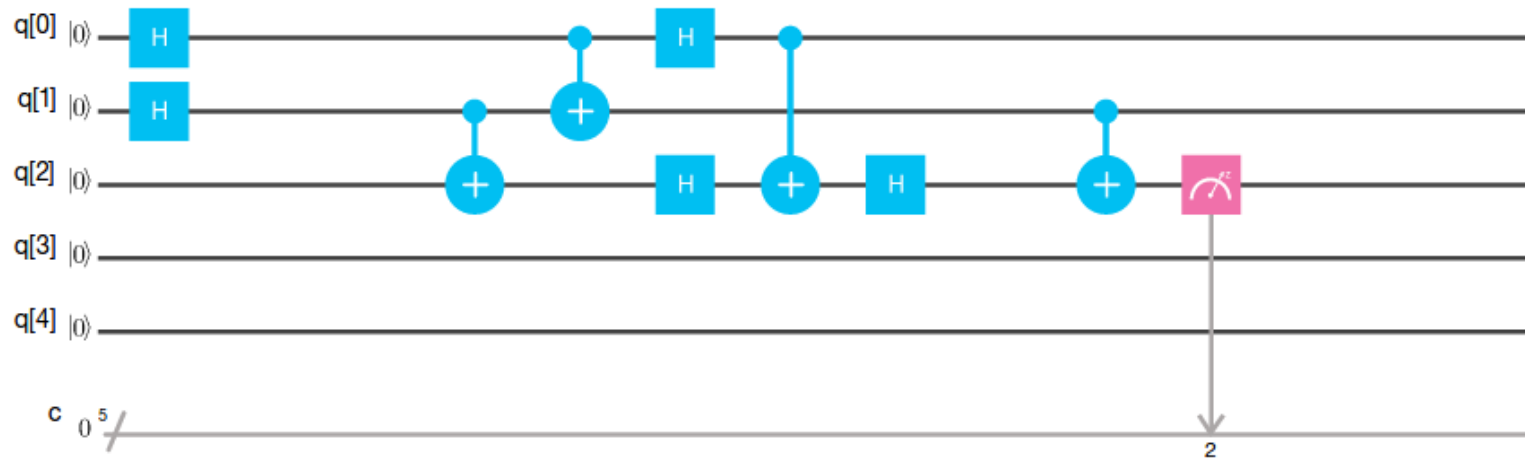
## Luftverkehrsplanung



Quelle: Kim et. al. arXiv:1301.3535

# Gatebasierte Quantencomputer

- Gatterbasierte Quantencomputer sind in Reichweite
- Quantenalgorithmen versprechen exponentielle Laufzeitverbesserung
- Unser Forschungsfeld:
  - Anwendungen für Quantencomputer
  - Software für Quantencomputer („Quantencompiler“)



Quelle: IBM Quantum Experience

Schaltskizze: Qbits ergeben Register, auf dem man die einzelnen “Gatteroperationen” Ausführt





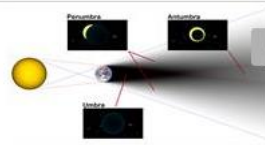









# Wir suchen...

- Mathematiker, Physiker, Informatiker, ....., mit Interesse am Entwickeln von Software
- Mathematische Verfahren müssen effizient implementiert werden
- Die Software soll hohe Qualität haben
  - Nutzung moderner Softwareentwicklungswerkzeuge
  - Testen von Software
  - Continuous Integration
  - ...
- Offenheit für neue Programmiersprachen und -modelle



# <http://www.dlr.de/jobs/> → Oder bewirb Dich Initiativ!

- **Angebote für Studenten:** Praktika, Studienarbeiten, Bachelorarbeiten, Masterarbeiten, Diplomarbeiten, Doktorarbeiten
- **Karriere:** Student, wissenschaftl. Mitarbeiter, Projektleitung, Abteilungsleitung, Instituts/Einrichtungsleitung, ...
- **Was es sonst noch gibt:** Ausbildungen, Duale Studiengänge, technische Mitarbeiter

 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>Rendering of realistic clouds at all scales for virtual reality</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>	 <p>Wissenschaftliche Tätigkeit / Projektarbeit</p> <hr/> <p><b>Softwareforschung für das Concurrent- und Systems-Engineering im...</b></p> <hr/> <p>Simulations- und Softwaretechnik, Braunschweig</p>	 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>Physically based simulation of eclipses in virtual reality</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>	 <p>Scientific activities / projects</p> <hr/> <p><b>Research and Development for Coupling Requirements Analysis and Systems...</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>
 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>Non-photorealistic rendering of digital elevation data</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>	 <p>Wissenschaftliche Tätigkeit / Projektarbeit</p> <hr/> <p><b>Forschung im Bereich der Onboard-Software Produkt- und Qualitätssicherung in...</b></p> <hr/> <p>Simulations- und Softwaretechnik, Braunschweig</p>	 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>Automatic camera path planning through time and space in virtual reality</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>	 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>Automatic parametrization of cascaded shadow maps for terrain visualizations...</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>
 <p>Wissenschaftliche Tätigkeit / Projektarbeit</p> <hr/> <p><b>Ontologien und Semantik im modellbasierten Raumfahrtentwurf</b></p> <hr/> <p>Simulations- und Softwaretechnik, Braunschweig</p>	 <p>Course paper / final thesis</p> <hr/> <p><b>VR interaction design for manipulating aircraft components</b></p> <hr/> <p>Simulations and Software Technology, Braunschweig</p>	<p>11. OKTOBER 2018</p>  <p><b>herCAREER München</b></p> <p>Höhenflüge für Frauen – das DLR auf der Münchner Karriere messe</p>	 <p>Wissenschaftliche Tätigkeit / Projektarbeit</p> <hr/> <p><b>Onboard Software Forschung und Entwicklung in der Raumfahrt</b></p> <hr/> <p>Simulations- und Softwaretechnik, Braunschweig</p>

# Kontakt

## Margrit Klitz

Simulations- und Softwaretechnik  
Abt. High Performance Computing

[Margrit.Klitz@dlr.de](mailto:Margrit.Klitz@dlr.de)

<http://www.dlr.de/sc>

